

⑨日本国特許庁  
公開特許公報

⑩特許出願公開  
昭53—126243

⑤Int. Cl.<sup>2</sup>  
H 03 H 9/00  
H 01 L 41/00

識別記号

⑥日本分類  
98(3) A 322  
100 B 1

庁内整理番号  
7608—53  
6824—54

④公開 昭和53年(1978)11月4日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 8 頁)

④弾性波装置

①特 願 昭53—40417

②出 願 昭53(1978)4月7日

優先権主張 ③1977年4月7日③イギリス国  
(GB)④14806/77  
③1978年2月20日③イギリス国  
(GB)④14806/77

⑦発 明 者 リチャード・フランク・ミツチ  
エル

イギリス国サリー州ニア・レ  
ッドヒル・サルフォーズ・クロ  
ス・オーク・レーン(番地な  
し)

⑧出 願 人 エヌ・ベー・フィリップス・フ  
ル・イランペンファブリケン  
オランダ国アインドーフエン・  
エマシングル29

⑨代 理 人 弁理士 杉村暁秀 外1名

明 細 書

1. 発明の名称 弾性波装置

2. 特許請求の範囲

1. 基板とトランスジューサとを具え、前記基  
板をこの基板の所定の表面に貼接してこの基  
板内に沿面バルク弾性波が伝播するのをめめ  
るように構造的に配向させ、前記トランスジ  
ューサを前記の沿面バルク弾性波に結合する  
ように前記の表面上に配置した弾性波装置に  
おいて、前記の表面に貼接して伝播する前記  
の沿面バルク弾性波を多数回反射させるとと  
もに所定の周波数で沿面バルク定在弾性波を  
保持しうる共振キャビティを形成する一対の  
対向する端面を前記の基板に設け、前記の周  
波数で沿面バルク定在弾性波エネルギーと結  
合するように前記のトランスジューサを前記  
の共振キャビティに配置したことを特徴とす  
る弾性波装置。

2. 特許請求の範囲1記載の弾性波装置におい  
て、前記の周波数でレイリー波に結合するの

を抑圧するように前記トランスジューサを配  
置したことを特徴とする弾性波装置。

3. 特許請求の範囲1または2記載の弾性波装  
置において、前記のトランスジューサに加え  
て前記共振キャビティにおける前記の表面に  
速度減少装置を設けて前記の沿面バルク弾性  
波の速度を減少させ、これにより前記の沿面  
バルク弾性波の伝播をめめるようにし、前記  
の速度減少装置および前記のトランスジュー  
サを前記の一対の端面間のほぼ全体に亘つて  
延在させたことを特徴とする弾性波装置。

4. 特許請求の範囲1または2記載の弾性波装  
置において、前記トランスジューサを前記一  
対の端面間のほぼ全体に亘つて延在させたこ  
とを特徴とする弾性波装置。

5. 特許請求の範囲1ないし3のいずれか1つ  
に記載の弾性波装置を2層有する電気的な帯  
域通過フィルタにおいて、一方の前記弾性波  
装置内の前記トランスジューサを以つて、こ  
の一方の弾性波装置の共振キャビティ内に沿

面バルク弾性波エネルギーを投射し、この共振キャビティ内に沿面バルク定在弾性波エネルギーを形成するように配置した入力変換手段を構成し、2個の弾性波装置の共振キャビティを結合する結合手段を設け、該結合手段により他方の弾性波装置の共振キャビティ内に沿面バルク定在弾性波エネルギーを形成するようにし、他方の弾性波装置内の前記トランスジューサを以つて、前記の他方の弾性波装置の共振キャビティから沿面バルク弾性波エネルギーを受け取るように配置した出力変換手段を形成したことを特徴とする帯域通過フィルタ。

6. 特許請求の範囲に記載の帯域通過フィルタにおいて、2つの弾性波装置の各々の一方の前記端面の代りに、前記弾性波装置の双方を一直線状に有する単一基板の表面に位置する少くとも1つの周期的な反射用グレーティングを設け、前記の少くとも1つの周期的な反射用グレーティングの反射率を、沿面バルク

特開昭53-126243(2)

弾性波エネルギーがこのグレーティングを通過するような反射率としてこのグレーティングが2つの弾性波装置の共振キャビティを結合する前記の結合手段を構成するようにしたことを特徴とする帯域通過フィルタ。

#### 2. 発明の詳細な説明

本発明は弾性波装置に関するものである。

インタディジタルトランスジューサによるバルク弾性波の発生に関する研究論文が1974年の超音波学国際会議の "Proceedings of the IEEE" 第3/3頁に R.F. Mitchell 氏によつて発表された。この論文には3種類までの異なるバルク弾性波を無限の固体物質内のいかなる所定の方向にも伝播させることができるということに記載されている。1つの弾性波は縦波すなわち圧密波であり、伝播方向にほぼ平行な粒子運動を有しており、他の2つの弾性波は剪断弾性波であり、これらの弾性波の粒子運動方向は互に直角で縦波の粒子運動方向に対しても直角である。ある物質内のある伝播方向ではこれら2つの剪断弾性波は同じ速度を有し、

従つて互に区別することができない為、粒子運動方向は弾性波発生機構によつてのみ決定される。しかし一般に、これら剪断弾性波は異なる速度を有し、結晶構造に対するこれらの粒子運動方向も異なっており、これら粒子運動方向を伝播方向および使用する物質によつてのみ決定している。基板装置上のトランスジューサの向きおよび基板の結晶構造に対するこの端面の向きを適当に選択し、前記のバルク波のうちの1つ以上のバルク波の発生を高めるか或は抑圧するようにする方法も前記の論文に記載されている。更にこの論文には、縦波は表面に近ければ平行な固有の粒子運動を行なう剪断弾性波（水平方向に偏った剪断弾性波）のみが固体の基板の自由表面に対し近接し且つ平行した長い距離に亘つて伝播しうることも記載されている。

1977年3月3日に発行された "Electronics Letters" Vol. 13, No. 5, 第128～130頁の論文 (T. I. Browning および M. F. Lewis 著) の明文要約部に、「表面弾性波装置の簡単な、多傾性およ

び平坦構造性と、高速度、低減衰性、良好な温度安定性および表面汚染に対する不感を含むバルク波装置の優れた特性とを有する重要で新規な一群の弾性波装置を説明する」ということが記載されている。この論文では R.F. Mitchell 氏による論文を、固体基板の自由表面に対し近接し且つ平行して伝播しうるバルク弾性波に關して認めている。更に上記の "Electronics Letters" の論文には、これらのバルク弾性波を用いる装置に特に好適な水晶の一群のカットが記載されており、これらの装置はある分野、特に帯域通過フィルタおよび高周波安定発振器に好適であるということも記載されており、これらの装置においてはこれらのバルク弾性波は表面に沿つてビーム状に進み、これらのバルク弾性波はこれらが基板の下側表面に到達するかなり前に出力トランスジューサにより受けられるということを強調しており、更にこれらのバルク弾性波を他のものと区別するのに "surface-skimming bulk wave" という言葉を用いている。

本明細書ではサーフェイス・スキミング バルク ウェーブは基板の一方の表面に対し近接し且つほぼ平行に伝播するバルク弾性波を意味し、このようなバルク弾性波を特に“沿面バルク弾性波”と称する。バルク弾性波の伝播特性は自由表面の存在によりわずかに変更されること勿論である。また以後の説明で用いるバルク弾性波は、上述したようにわずかに変更されるもその特性を失わない波、例えばほぼ伝播方向の粒子運動を有する波（縦波）或は伝播方向にほぼ直角な粒子運動を有する波（剪断波）を含むものとする。

従つて“Electronics Letters”における上述した論文から、基板の所定の表面に隣接した基板内の沿面バルク弾性波の伝播を高めるように構造的に配向させた基板と、前記の表面上に設けられ前記の沿面バルク弾性波に結合されるトランスジューサとを有する型の弾性波装置が熟知となる。

本発明の目的は、“Electronics Letters”の前述した論文に記載された2つのトランスジューサより成る遅延線を有し沿面バルク弾性波を

特開昭53-126243(3)

用いた装置ではなく、沿面バルク定在弾性波を用いた前記遅延線の型の弾性波装置を提供せんとするにある。

本発明は、基板とトランスジューサとを共に、前記基板をこの基板の所定の表面に隣接してこの基板内に沿面バルク弾性波が伝播するのを高めるように構造的に配向させ、前記トランスジューサを前記の沿面バルク弾性波に結合するように前記の表面上に配置した弾性波装置において、前記の表面に隣接して伝播する前記の沿面バルク弾性波を多数回反射せるとともに所定の周波数で沿面バルク定在弾性波を保持しうる共振キャビティを形成する一対の対向する端面を前記の基板に設け、前記の周波数で沿面バルク定在弾性波エネルギーと結合するように前記のトランスジューサを前記の共振キャビティに配置したことを特徴とする。

本発明は、基板の端面からの沿面バルク弾性波の反射は、例えば米国特許第3,886,804号明細書に記載されているような通常のレイリー波共振器に用いられる周期的な反射用グレーティングか

らのレイリー波面弾性波の反射よりも本質的に一層有効に行なわれ、従つて大きなQ値を一層容易に得ることかできるという認識を基に成したものである。また本発明によれば、適当な場合に基板の端面を単に研磨するだけで共振キャビティ（共振腔）の寸法を変えることができる。従つて、弾性波装置の製造時に広い周波数範囲に亘る共振周波数の同調を容易に行なうことができる。このような同調はレイリー波共振器では行なうことができず、通常のバルク波共振器の場合にもこのような同調は制限される。

本発明においては、前記の所定の周波数でのレイリー波に対する結合が抑圧されるように前記のトランスジューサを配置するのが好適である。本発明の他の好適例によれば、前記のトランスジューサに加えて前記共振キャビティにおける前記の表面に速度減少装置を設けて前記の沿面バルク弾性波の速度を減少せ、これにより前記の沿面バルク弾性波の伝播を高めるようにし、前記の速度減少装置および前記のトランスジューサを前記の

一対の端面間のほぼ全体に亘つて延在させる。また本発明の更に他の好適例によれば前記のトランスジューサを前記の一対の端面間のほぼ全体に亘つて延在させる。

前記遅延器に配載したことは結合効率の増大および沿面バルク弾性波のエネルギーの保存に役立ち、これらの特性は特に共振器に必要で大きなQ値を得るのに望ましいものである。

電氣的帯域通過フィルタには本発明による弾性波装置を2個設け、一方の共振腔内から前記弾性波装置内の前記トランスジューサを以つて、この一方の弾性波装置の共振キャビティ内に沿面バルク弾性波エネルギーを放射しこの共振キャビティ内に沿面バルク定在弾性波エネルギーを形成するように配置した入出力選択手段を構成し、2個の弾性波装置の共振キャビティを結合する結合手段を設け、該結合手段により他方の弾性波装置の共振キャビティ内に沿面バルク定在弾性波エネルギーを形成するようにし、他方の弾性波装置内の前記トランスジューサを以つて、前記の他方の弾

理  
想  
的  
印  
刷

性波振数の共振キャビティから沿面バルク弾性波エネルギーを欠けるように配した出力変換手段を形成するようにすることができる。

前段路に配した帯域通過フィルタは、2つの弾性波振数の各々の一方の前記端面の代りに、前記弾性波振数の双方を一直線状に有する単一基板の端面に位置する少くとも1つの周期的な反射用グレーティングを設け、前記の少くとも1つの周期的な反射用グレーティングの反射率を、沿面バルク弾性波エネルギーがこのグレーティングを通過するような反射率としてこのグレーティングが2つの弾性波振数の共振キャビティを結合する前記の結合手段を構成するようにすることにより実現しうる。

図面につき本発明を説明する。

第1図は1個のトランスジューサを伝播端面を備うように設けた共振器を示す。この共振器は圧電基板aと、この圧電基板aの伝播端面o上に設けた変換手段bとを有し、バルク弾性波を端面にほぼ平行に投与させる。このバルク弾性波は沿面

弾合一般に、トランスジューサの電極のすべてを所要の共振と調達する電圧定在波パターンに配する必要がある。基板の伝播端面とは反対側の面を組に、或は伝播端面に対し角度を成すようにして不所望な伝播モードを抑圧することができる。

使用する基板は、水晶、ニオブ酸リチウム、酸化鉛ビスマス或は圧電セラミックのような単一の圧電材料のものとするか、或は多枚の層を有し、これらの層の1つ以上を圧電材料としうる層状媒体とすることができる。

第1図に示すように、トランスジューサbは端面d間のほぼ全体に亘つて延在し、従つて端面d間のほぼ全体を覆い、従つて波が下向きに伝播する自由端面の領域のほぼ全体を覆う。この手段は、沿面バルク弾性波が伝播する端面領域におけるこの沿面バルク弾性波の速度を、この手段を行なわなかつた場合にこの沿面バルク弾性波と同じ波が有するであろう速度よりも減少させ、沿面バルク弾性波を端面領域にできるだけ接近させるように

特開昭53-126243(4)

バルク弾性波であり、この沿面バルク弾性波は変換手段の両側に設けて端面から有効に反射しうる為、選択したモード周波数で端面間に定在波共振を生ぜしめる。これら端面dは弾性波の波前にはほぼ平行とするのが好適であり、伝播端面cに垂直にすることもできる。前記の変換手段は、モード周波数で少くとも所要の沿面バルク弾性波を励振しうるインタディジタルトランスジューサである。このトランスジューサは、例えばこのトランスジューサが共振する電極の長さ、電極の間隔および電極の個数を変えることにより、所要の沿面バルク弾性波或は他の弾性妨害波が発生される周波数範囲を制限するように設計変更することもできる。例えば、所要の沿面バルク弾性波の共振周波数で或はその付近でレイリー波の発生をほとんど抑圧するようにトランスジューサを設計することかできる。トランスジューサbは、所要の共振パターンに、すなわち選択したモード周波数での沿面バルク定在弾性波エネルギーに有効に結合するように反射端面dに対して配する必要がある。この

する為の一例である。これと同じ目的の為に他の手段を講じることができ、例えば、端面領域を例えば共振波はイオン注入により延在して端面領域内の化学的組成および機械的性質の双方取はいずれか一方を変化させ、これにより速度を減少させるようにすることができる。他の手段としては、複数のトランスジューサを設け、これらトランスジューサで前記の自由端面のほぼすべてを覆うようにすることができ、またこれらトランスジューサには必ずしも必要ではないが好適には追加の電気回路或は接続線により互に接続した1個以上の入力トランスジューサと、必ずしも必要ではないが好適には追加の電気回路或は接続線により互に接続した1個以上の出力トランスジューサとを含めるようにすることができる。この手段の一例として、第2図に3個のインタディジタルトランスジューサo、iおよびgを有し、トランスジューサoを入力端に接続し、トランスジューサiおよびgを負荷インピーダンスjおよびkにそれぞれ接続した共振器を示す。更に他の手段は、ト

ランスジューサにより検出されておる剪断の自由表面の部分上に金属層或は誘電体層を増強させることである。これらの層は第3図に示すように連続層とするか或は電氣的に分離されるも互に接近して離隔させた筋条 $m$ 或はドット $n$ の形態とすることができる。

共振を行なう表面バルク弾性波は表面にほぼ平行に伝播する縦波、或は表面にほぼ平行な粒子運動を有し(すなわち水平方向に偏り)、表面にほぼ平行に進行する剪断波とすることかできる。共振の結晶構造に対する表面の向きおよび伝播方向を選択する方法としては、前述した "Proceedings of the IEEE" に準結晶基板に対して記載されている原理を用いることができ、これと向異なる原理を多層材料に適用することができる。基板の結晶構造に対する表面の向きは縦波のみを或は水平方向に偏った剪断波のみをトランスジューサによつて発生せしめうるように選択することができる。この選択に加えて或はこの選択の代りに、表面の向きを、選択した波に対する温度変動による遅延

時間の変化がほぼ零となるように選択することができる。水平方向に偏った剪断波の場合には、上述した選択に加えて或は上述した選択の代りに、表面の向きを剪断波の伝播速度か選択方向に伝播しうる他のいかなる進行弾性波の速度よりも低くなるように選択するか、或は表面の向きを表面バルク弾性波の速度が共振周波数でトランスジューサによつて発生せられる他のいかなる弾性波の速度よりも低くなるように選択することかできる。

特定の基板材料を用いれば、バルク剪断波がある所望の特性を呈する伝播方向を選択し、且つ表面がこの選択した伝播方向と剪断の剪断波の粒子運動の方向との双方を含むように共振器を構成することにより表面の適正な向きを選択することができる。上記の所望の特性とは例えば、所定の温度係数かほぼ零となる特性であり、この場合共振を水晶とすると、選択した伝播方向をAT、BT或は他の既知の零温度係数カットに垂直な方向とすることができる。トランスジューサはほぼこの方向に投波するように配置する。インタディジタル

5-11  
5-12  
5-13

トランスジューサを用いる為、電極は関連する剪断粒子運動にほぼ平行に位置する。第4図は剪断波の粒子運動の方向 $p$ にほぼ平行にカットされ、自由表面 $x$ に垂直であり、所望の共振周波数における剪断波の半波長のほぼ整数倍だけ互に離隔させた端面 $s$ を示す。第4図に示す剪断波の伝播方向 $q$ は剪断波に対する遅延の温度係数がほぼ零である方向である。ある特定の例では、第4図に示す端面を、ATカットのバルク波共振器水晶結晶板においてバルク波を増強させる筋条の列を設けたこの結晶板の主面とする。

第5図を参照するに、圧電セラミック特性を用いる場合には、この筋条の配向を自由表面に偏り方向を含むような配向とする必要がある。1個或は複数個のインタディジタルトランスジューサの電極は偏り方向にほぼ平行とし、剪断波を偏り方向に垂直で自由表面 $u$ に平行に投波するようにするのが好適である。波を反射する端面 $v$ は偏り方向にほぼ平行にカットし、これら端面が自由表面にほぼ垂直で、しかも所望の共振周波数で剪断

波の半波長のほぼ整数倍だけを互に離隔されるようにすることができる。

上述したような共振器を2個以上互に結合させて帯域通過フィルタを形成することができる。結合手段は、1個の共振器における所望の共振結合手段を介して他の1個以上の共振器に共振を生ぜしめるように配置した1個以上のトランスジューサ或はマルチストリップ・カプラとすることができる。第6図は反射端面 $z$ と、各キャパシティ(共振空腔)におけるインタディジタルトランスジューサ $x$ と、2つのキャパシティを結合するマルチストリップ・カプラ $y$ と、金属或は誘電体共振層 $o$ とより成る2つの共振器を示す。カプラ $y$ および共振層 $o$ はトランスジューサ $x$ に加わる速度減少共振を構成し、これにより共振器内の表面バルク弾性波の伝播を高める。第7図は反射端面 $z$ と、一方のキャパシティにおける入力トランスジューサ $a$ と、他方のキャパシティにおける出力トランスジューサ $d$ と、電氣的に互に接続した2つの結合用トランスジューサ $b$ と、金属或は誘電体共振層 $o$ とより

成る2つの共振器を示す。結合用トランスジューサ $\gamma$ および共振層 $\delta$ はトランスジューサ $\alpha$ および $\beta$ に加わる速度減少装置を構成し、これにより共振器における沿面バルク弾性波の伝播を高める。第4図は類似に直線状に配置した2つの共振器を示す。各共振器は1個の反射端面 $dd$ を有し、各共振器の他の反射端面の代りに周期的な反射用グレーティング $oo$ を設ける。グレーティング $oo$ の元素メントは屏として示すも、金属膜は誘電体共振層とするか、又は端面領域の波動特性に振動を与えて部分的な反射を行い、反射されない沿面バルク弾性波のエネルギーが結合を行なうようなものとすることができる。一方の共振器は入力トランスジューサ $aa$ を有し、他方の共振器は出力トランスジューサ $bb$ を有する。

2個以上の共振器を互に結合するか又は同じ電気回路またはサブシステムに用いる場合には、各共振器の端面間の距離を各別の共振波長 $\lambda$ の半波長の整数倍でしかも互に異なるようにすることができる。

q...伝播方向、r...自由表面、s...端面、t...偏り方向、u...自由表面、v...端面、w...マルチストリップ・カブラ、x...インタデジタルトランスジューサ、y...金属膜は誘電体共振層、z...端面、j...端面、 $\alpha$ ...入力トランスジューサ、 $\beta$ ...出力トランスジューサ、 $\gamma$ ...結合用トランスジューサ、 $\delta$ ...金属膜は誘電体共振層、aa...入力トランスジューサ、bb...出力トランスジューサ、oo...グレーティング、dd...端面。

特許出願人

エヌ・ペー・フィリップス・  
フルーイランペンファブリケン

代理人 井雄士

杉 村 隆 秀

同 井雄士

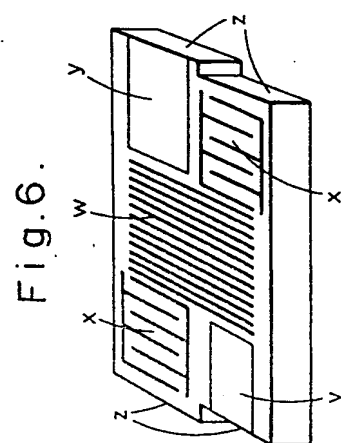
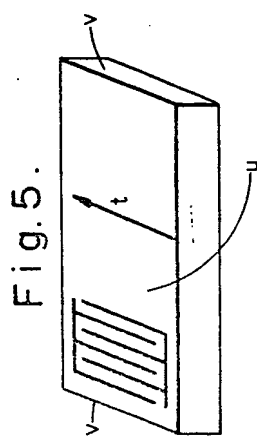
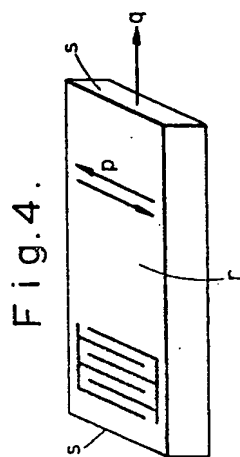
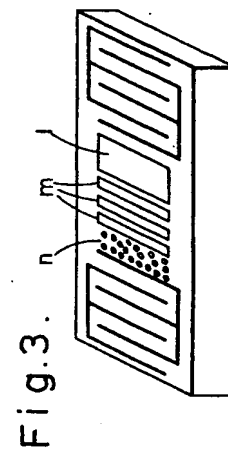
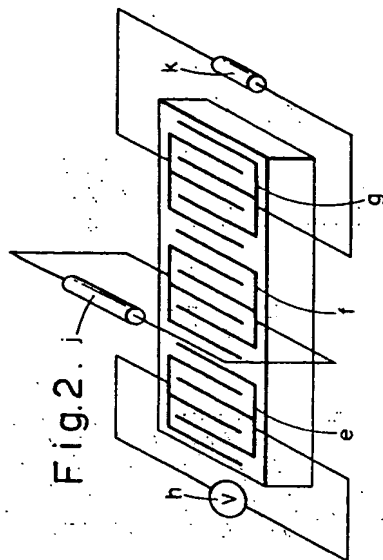
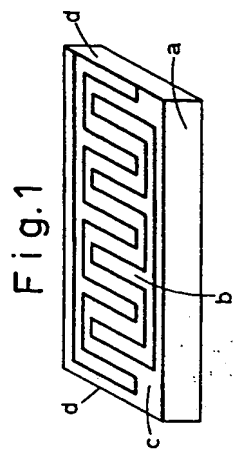
杉 村 興 作

特開昭53-126243(6)

#### \* 図面の簡単な説明

第1図は1個のトランスジューサを伝播端面を覆うように設けた共振器の一例を示す斜視図、第2図は数個のトランスジューサを有し、これらトランスジューサによつて伝播端面を覆うようにした共振器の他の例を示す斜視図、第3図は沿面バルク波を伝播端面領域に制限する金属膜は誘電体共振層を有する共振器の更に他の例を示す斜視図、第4図は誘振の配向を選択する一般的手段を示す共振器を示す斜視図、第5図はセラミック物質に対する基板の配向を選択する特定手段を示す斜視図、第6図はマルチストリップ・カブラを用いて結合した2つの共振器を示す斜視図、第7図はトランスジューサによつて結合した2つの共振器を示す斜視図、第8図は弾性的に結合した2つの共振器を示す斜視図である。

a...圧電基板、b, c, f, g...変換手段(トランスジューサ)、e...伝播端面、d...端面、h...入力端、j, k...負荷インピーダンス、i, m, n...金属膜又は誘電体層、p...剪断波の粒子運動方向、



(8)

特開 昭53-126243 (8)

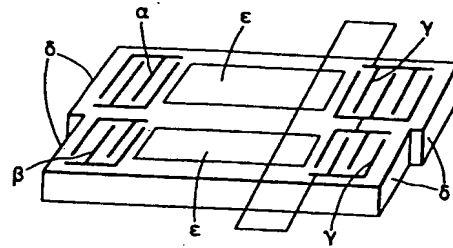


Fig. 7

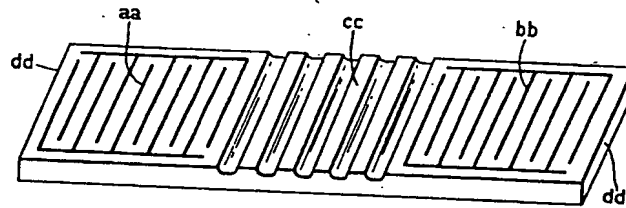


Fig. 8

特開  
昭53  
126243



厚み振動を用いた高周波圧電振動子は、周波数がVHFからUHF帯に及び基本モード励振のものは製作が難しくなり、高次モード励振を使うと容量比が大きくなる。これに対し、弾性表面波変換器としてのインターディジタル・トランスジューサ(IDT)は、UHF帯で基本波励振を行うものもホトエッチング技術により容易に製作できる。IDTは、表面波の放射に基づく音響負荷抵抗が大きいため、そのまゝでは圧電共振子として利用することはできないが、表面波の反射器とIDTの両側に配置して、表面波を反射器の間にとじこめれば共振子となる。1970年にAsh<sup>(1)</sup>がグレーティング反射器を用いた表面波共振子を発表した<sup>(2)(3)(4)</sup>が、あまり関心を呼ばなかったようである。昨年<sup>(5)(6)(7)(8)(9)</sup>から、Stapels<sup>(2)(3)(4)</sup>、筆者<sup>(5)(6)(7)(8)(9)</sup>、Lakin, Joseph<sup>(10)(11)(12)</sup>、Li<sup>(13)</sup>が同様の共振子を相ついで発表し、これに関する発表が急に活発になった。グレーティング反射器を用いた共振子の発表が多いが、他にもいくつかの共振子構成法がある。本稿ではこれらを紹介し、私見と試案を述べる。

[2] グレーティング反射器を用いた共振子の構成法

### (2.1) 原理

(2.1) 原理 弾性表面波の伝搬路に周期的な振動を与えると、周期しが表面波の半波長になるような周波数(ストップバンド)では、正反射方向に伝搬する二つの表面波モードが結合するため、一方から入射した表面波は徐々に反射波に変換され減少していく。振動を大きくすればこの減少の割合も大きくなる。したがって、有限の長さ $N\lambda$ の区間だけに振動を与えても、 $N$ をある程度大きくすれば、ほぼ完全に入射波を反射させることができる。これがグレーティング反射器である。振動としては、基板表面に周期的な変形を与えても周期的に蒸着膜をつけてもよい。圧電性基板にストリップ電極をつけた場合には、弾性的振動の他に、電極の電界短絡効果による電氣的振動が加わる。図1のように、IDTの両側にこの反射器を配置すれば、反射器間で共振が起り、共振子となる。

(2.2) グレーティング反射器の特性

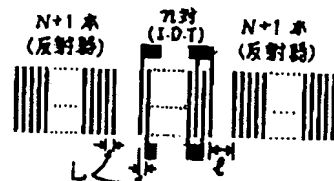


図1 表面波共振子の構成

## (2.2) グレーティング反射器の特性

α) 理論解析 グレーティングの反射・透過特性の理論解析はいくつか報告されているが、等価回路の連続接続によって一次元的に解析しているものが多い。<sup>(14)(15)(16)</sup>しかし、振動の影響は二次元であり、また個々の不連続部の効果は独立ではないから、はじめから周期振動を総体的にとらえて解析することが望ましい。このような見地から、この種の問題に対しては、筆者らが行ったような振動論とモード結合理論による解析方法が適していると考えます。

筆者らの解析<sup>(5)(7)</sup>は、図2のような場合を扱ったもので、電極による電  
氣的振動と弾性的振動を同時に考慮し、両振動の相加関係を明らかにし  
ている。また、電極間に接続されるアトミッタンスYの影響(短路の場  
合と開放の場合の違いなど)や電極幅(W/L)の影響も明らかにしている。

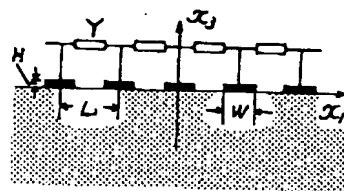


圖2 電極配置

$x_1$  の正負両方向に伝搬する表面波を  $A^{\pm}_{\text{F}} e^{i k x_1}$  (ただし  $V$  は振動前の表面波速度) と表わすと、これらは振動によって結合しエネルギーを交換するから、 $A^{\pm}$  は  $x_1$  とともに変化する。結合の弱い項を無視すれば、振動論により  $A^{\pm}(x_1)$  に関する次のモード結合方程式が得られる。
 
$$(\alpha A^{\pm}(x_1))' = \pm \frac{1}{2} \frac{1}{V} \frac{dV}{dx_1} A^{\pm}(x_1)$$

$$\frac{\partial A^+(x_1)}{\partial x_1} = -j\kappa_{11}A^+(x_1) - j\kappa_{12}A^-(x_1)e^{j2\delta x_1}, \quad \frac{\partial A^-(x_1)}{\partial x_1} = j\kappa_{21}A^+(x_1)e^{-j2\delta x_1} + j\kappa_{22}A^-(x_1) \quad (\delta = \frac{\omega}{v} - \frac{\pi}{2}) \quad (1)$$

結合係数  $x_{11}$ ,  $x_{12}$  は、電氣的振動による項と弾性的振動による項の和で表わされる(文献(7)参照)。振動後の伝搬定数  $\beta$  は(1)式より  $\beta = \frac{\pi}{\lambda} + j\sqrt{x_{12}^2 - (\delta + x_{11})^2}$  となる。  $x_{12}^2 > (\delta + x_{11})^2$  すなわち  $\beta$  が複素数になり、 $\text{Re}(\beta) = \frac{\pi}{\lambda}$  (定)となる周波数がストップバンドである。  $0 < x_1 < NL$  の区間にだけ振動を与えたときの反射係数  $R$  は、  $N$  が大きい程度大さければ、  $A^+(0) = 1$ ,  $A^-(NL) = 0$  の条件を入れたときの  $A^-(0)$  として、(1)式から次のように求められる。

$$R = -jx_{12} \sinh \Gamma NL / \sqrt{\delta \cosh \Gamma NL} + j(\delta + x_{11}) \sinh \Gamma NL \quad (2)$$

b) 数値計算例 基板をPZT系磁器、電極を銀とした場合の計算例を図3~6に示す(図中の $\epsilon_0$ は $\frac{25}{4}$ ,  $K^2$ は表面波に対する電気機械結合係数 $2\frac{e^2}{Y}$ )。図3はモード間結合係数 $X_{12}$ , 図4はストップバンドの中心( $\delta + X_{11} = 0$ )における反射係数 $R$ を示す。これらの電極厚さ( $H/2L$ )による変化から、電気的振動と弾性的振動の効果は、 $\gamma = \infty$ (短絡)のときは加算されるが、 $\gamma = 0$ (開放)のときは打

消し合うことがわかる。図5、図6は反射係数 $R$ の大きさと位相角の周波数特性である。ストップバンドの中心での位相角は、 $Y=\infty$ の場合には常に $-\pi/2$ であるが、 $Y=0$ の場合には電気の振動が大きければ $\pi/2$ 、弾性的振動が大きければ $-\pi/2$ である。

C) 実験例 160本の電極列の両側にIDTを設け、伝達周波数特性を測定した結果を図7に示す。電極を厚くしたとき、ストップバンドでの落ち込みが $Y=\infty$ では増加し、 $Y=0$ では減少しており、理論の結果と一致する。

### (2.3) 共振子の構成条件および特性

図1の共振子を構成するには、IDTと反射器の間隔 $l$ を適当に選ぶ必要がある。反射係数の位相特性を直線に近似し、IDTは短絡として、共振周波数と $l/L$ の関係を求めた例を図8に示す。共振周波数をストップバンドの中心に合わせることが望ましいが、その条件は、 $Y=\infty$ の場合には常に $l/L=0.75$  (または $1.75, 2.75, \dots$ ) となる。 $l/L=0.75$ および $1.25$ の場合のアドミッタンス特性の計算例を図9に示す。 $Y=\infty$ の場合、 $l/L=0.75$ では良好な共振特性を示すが、 $1.25$ では示さない。 $Y=0$ の場合にはその反対になる。このような傾向は実験的にも確かめられている。

以上の計算では基板の減衰定数 $\alpha$ を零としたが、 $\alpha$ を考慮に入れると、反射係数は減少し、共振尖鋭度 $Q$ も低下する。ストップバンドの中心に共振を合わせたときの $Q$ は次式で表わされる。

$$Q = \pi \cdot \frac{R_{01} e^{-\pi D}}{1 - R_{01}^2 e^{-2\pi D}} \left\{ \frac{D}{L} + \left\{ 1 + \alpha N L \cdot \frac{\sinh \Theta \cosh \Theta - \Theta}{\sinh^2 \Theta} \right\} \frac{R_{01}}{X_{01} L} \right\} \quad (3)$$

こゝに、 $D=2(\pi L + l)$ 、 $\Theta = \sqrt{K_{12}^2 + \alpha^2} \cdot NL$ 、また $R_{01}$ は(2)式で $X_{11}$ を $(X_{11} - j\alpha)$ と置きかえ、かつ $\delta + X_{11} \rightarrow 0$ とした値である。 $Q$ の計算例を図10に示す。基板の損失が $Q$ に大きく影響することからわかる。図折換、バルク波の励振、電極の電気抵抗などを考えると、 $Q$ はこれより若干小さくなる筈である。実験的には、基板が $\text{LiNbO}_3$ の場合数10MHz~数100MHzで約3000<sup>(2)</sup>、水晶の場合140MHzで約10000<sup>(2)</sup>、PZT系ホットプレス磁器の場合30MHz近くで300~400<sup>(5)</sup>の $Q$ が得られている。

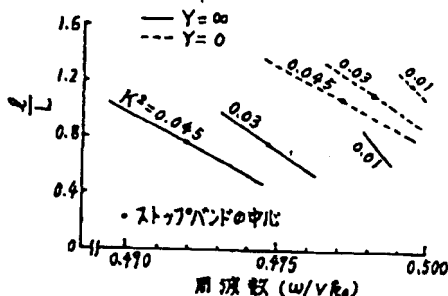


図8 構成条件 ( $\pi=15$ の場合)

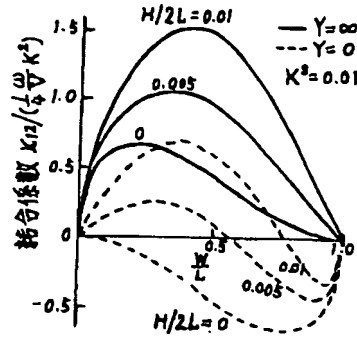


図3 モード間結合係数

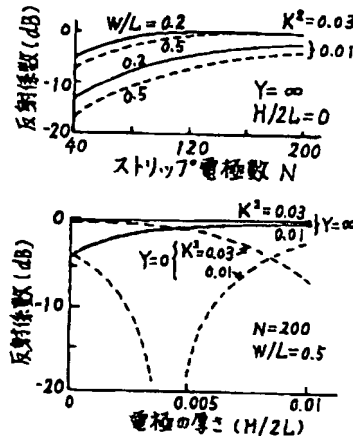


図4 反射係数

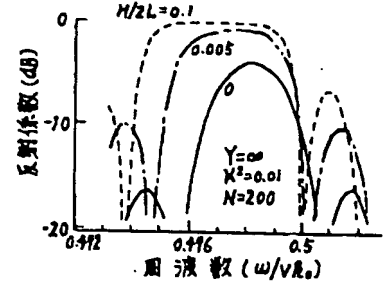


図5 反射係数の周波数特性

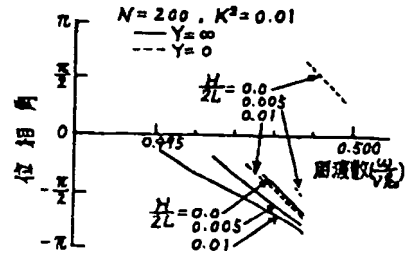


図6 反射係数の位相特性

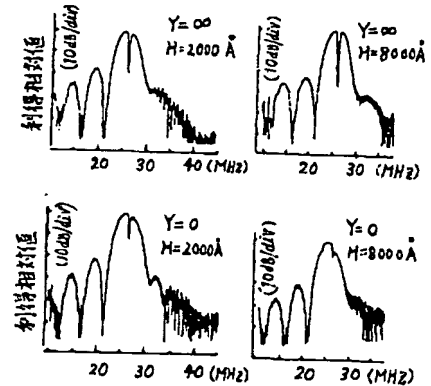


図7 伝達周波数特性

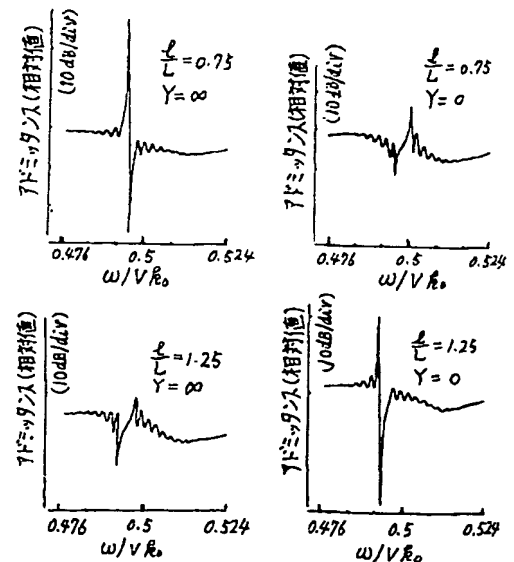


図9 アドミッタンス特性の計算例 ( $K^2=0.03, N=200, \pi=15$ )

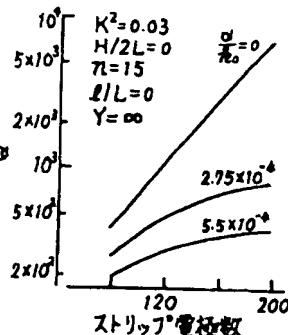


図10 共振尖鋭度

(2.4) ラジアルモード共振子 ラジアルモードの表面波を利用して、図11のような圧電共振子を構成することもできる。このようにすれば、表面波は円形の領域に完全にとじこめられ、回折損はなくなる。

### [3] その他の共振子構成

(3.1) IDT反射器による構成 IDTの電気端子を同調インダクタンスで終端した表面波反射器<sup>(16)</sup>も、グレーティング反射器と同様に、共振子の構成に利用できる筈である。しかし、これに関する報告は見当たらない。インダクタンスの外付とその調整を要するという欠点はあるが、グレーティング反射器に比べ、電極本数をそれほど多くしなくても十分な反射を得ることができるので、圧電基板を小さくすることができよう。

(3.2) 全反射現象を利用した共振子構成 最近 Oliner は、平面波が境界面に斜め入射する場合の全反射および Frustrated Total Reflection (FTR) の現象を弾性表面波に利用することに着眼し、種々の新しい表面波素子（ビーム方向変換器、パワースプリッタ、共振器、フィルタなど）の着想を提案した。<sup>(17)</sup> これは、基板表面の一部に適当な薄膜をつけて表面波速度を部分的に変化させ、その境界で全反射が起るように表面波入射角を選び、付着膜の形状、寸法により種々の機能をもたせるというものである。膜を付した部分の表面波速度を基の速度より遅くする方法（slow on fast）と速くする方法（fast on slow）とがあるが、いずれにしても、低速側から境界に入射するときの入射角が臨界角以上になるようにする。Oliner の提案した共振器は図12のようなもので、いわゆる横共振の周波数では反射がなくなり完全に透過するから、透過波の周波数特性に鋭いピークが得られる。これはFTRを利用したもので、このまゝでは圧電共振子にはならない。全反射を利用すれば、表面波を低速部分にとじこめて圧電共振子を構成することもできる筈である。図13はその一案である。図の(a)では入射角が $60^\circ$ であるが、入射角を $45^\circ$ （速度比 $>\sqrt{2}$ ）にすることができれば、(b)のようになりかなり簡単な形になる。このような全反射を利用する場合には、グレーティング反射器の場合と異なり反射特性が広帯域である。しかし、そのためにスプリアスに対する異なった配慮が必要になろう。Oliner は、この方法が基板の圧電性を要しないため、基板選択の自由度が増すことを指摘し、等方性基板の場合について述べている。非圧電性基板を用いる場合には、IDT部分にZnO膜などをつける必要がある。また、圧電性のある異方性基板の場合についても考えていく必要がある。

### (3.3) 自由端面の反射を利用する構成

Rayleigh type の表面波は自由端面でモード変換を生ずるから、端面での反射を利用することはできないが、SH type (Love type, Bleustein type) の表面波の場合ならば、自由端面でモード変換を伴うことなく完全反射させることができるから、これを利用して図14のように共振子を構成することができる。<sup>(18)</sup> この共振子では、自由端面が原理的には反射器として理想的であり、無駆動伝搬をさせる必要もないから、容量比が小さくQの大きいものを得ることができよう。

(3.4) IDT共振子 反射器を用いずにIDTだけでQの高い圧電共振子を構成する方法も報告されている。<sup>(19)(20)(21)</sup> この方法は、IDTの対数を多くし、その数を適当に選定することにより、アドミタンスのコンダクタンス分 $G_a$ とサセプタンス分 $(\omega C_T + B_a)$ とが、IDTの中心周波数よりわずかに高い同一の周波数でともに零となるようにするものである。IDTのインピーダンスはその周波数で鋭いピークを示す。40 MHz および 150 MHz 付近で約2000のQが得られており、これを利用した狭帯域阻止および狭帯域通過形フィルタの試作結果も報告されている。<sup>(20)(21)</sup> 今後、IDT自体の周期振動による反射を考慮に入れた解析、設計が必要になろう。また、反射器を組み合わせたこの型の共振子も興味ある課題である。

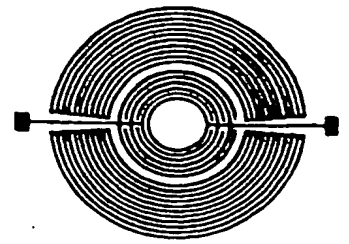


図11 ラジアルモード表面波共振子



図12 FTRフィルタ  
(fast on slowの例)

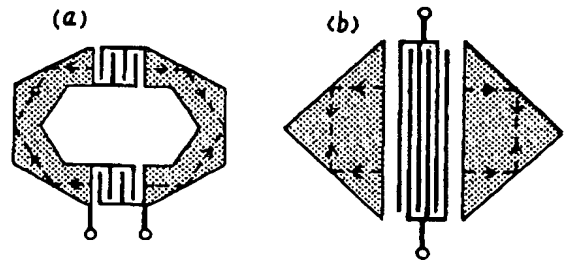


図13 全反射現象を利用した共振子 (slow on fastの例)

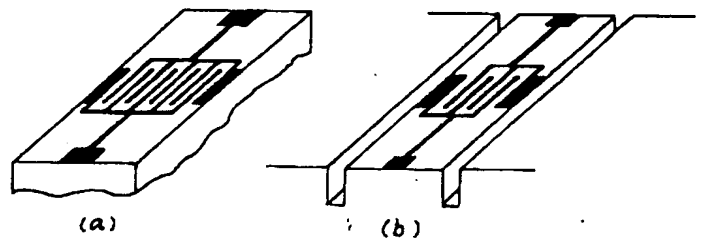


図14 自由端面の反射を利用した共振子

## [4] 多重モード表面波フィルタへの応用について

普通のバルク波共振子の場合と同様に、複数個の表面波共振子を適当に組み合わせることにより、多重モードフィルタを構成することができると考えられる。<sup>(5)</sup> 共振子間の結合方法としては、(i) マルチストリップ・カップラ(MSC)<sup>(20)</sup> などを用いて電氣的に結合させる方式と、(ii) 共振子を接近して設け弾性的に結合させる方式とが考えられる。図15~17に具体的構成の試案を示す。図15はグレーティング反射器による共振子の場合、図16は自由端面の反射を用いたSH Type 表面波共振子の場合、図17は全反射を用いた共振子の場合である。図15(a)および図16(a)はMSCによる電氣的結合を用いた例であり、その他は弾性的結合を用いた例である。また、図18は、FTRを利用した共振器を複数個接近させて配置したフィルタ構成の例であるが、これも弾性的結合方式による多重モードフィルタの一つと見ることができよう。

このような多重モード表面波フィルタは、バルク波共振子による多重モード圧電フィルタやエネルギーロジック型モノリシックフィルタと同様の考え方に基づくものであるから、トランスバーサルフィルタの考え方に基づく普通の表面波フィルタと異なり、無損失とした場合の原理的な挿入損失が零である、終端整合条件を考慮に入れた設計も容易である、などの特長がある。

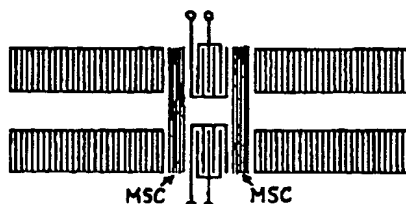
筆者はこれらの多重モードフィルタに関心をもち、いずれもまた試案の段階であって、その実現は今後の研究にまたなければならぬ。

## [5] おわりに

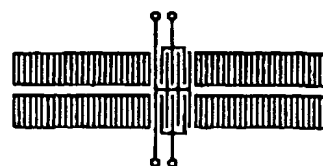
弾性表面波共振子はVHF、UHF帯に適した新しい機能素子として注目され、これに関する研究発表が盛に行われるようになってからまだ一年も経っていない。今後の発展が大いに期待される。本稿では、すでに発表されている研究の解説の他に、未検討の筆者の試案もいくつか述べた。これについてはさらに研究を続けて行くつもりである。

## 文献

- (1) E.A.Ash, "Surface Wave Grating Reflectors and Resonators", IEEE Symposium Microwave Theory and Techniques, May 1970
- (2) E.J.Stapels, "UHF Surface Acoustic Wave Resonators", Proceedings of the 1974 Symposium on Frequency Control.
- (3) J.S.Schoenwald, et.al., "Surface Wave Cavity and Resonator Characteristics - VHF to L-Band", 1974 IEEE Ultrasonic Symposium Proceedings, Nov. 1974
- (4) E.J.Stapels, et.al., "UHF Surface Acoustic Wave Resonators", ibid.
- (5) 鈴木, 清水, 「すだれ状電極による弾性表面波の透過・反射・共振子への応用」, 信学会超音波研究US74-24 (1974-09)
- (6) 鈴木, 清水, 「すだれ状電極による弾性表面波の反射, 透過の解析(反射器および共振器への応用)」, 音響学会講演論文集(8849, 10)
- (7) 鈴木, 清水, 「電氣的および弾性的同期振動による音響表面波の反射とその圧電共振子への応用」, 信学会超音波研究US74-45 (1975-01)
- (8) 鈴木, 清水, 「電氣的および弾性的同期振動を利用したときの音響表面波の反射・透過特性」, 音響学会講演論文集(8850, 5)
- (9) 鈴木, 清水, 「音響表面波共振子の構成条件と特性の関係」, 音響学会講演論文集(8850, 5)
- (10) K.M.Lakin, et.al., "Planar Surface Acoustic Wave Resonators", 1974 IEEE Ultrasonic Symposium Nov. 1974
- (11) T.R.Joseph, et.al., "Two-port cavity resonator low-insertion-loss delay line", Appl. Phys. Lett., 26, No.7, 1 '75
- (12) T.R.Joseph, et.al., "Surface acoustic wave planar resonator using grating reflectors", Appl. Phys. Lett., 26, No.2, 15 '75
- (13) R.C.M.Li, et.al., "On the Performance and Limitation of the Surface-Wave Resonator Using Grooved Reflectors", 1974 IEEE Ultrasonic Symposium, Nov. '74
- (14) R.D.Weglein, European Microwave Conference, '73
- (15) E.K.Sittig, et.al., "Filters and Dispersive Delay Lines Using Repetitively Mismatched Ultrasonic Transmission Lines", IEEE Trans. SU-15, No.2, '68
- (16) W.R.Smith, et.al., "Design of Surface Wave Delay Lines with Interdigital Transducers", IEEE Trans. MTT-17, No.11, 865 '69
- (17) A.A.Oliner, et.al., "A new class of components which do not require piezoelectric substrates", 1974 IEEE Ultrasonic Symposium Proceedings, Nov. 1974
- (18) 太田, 「圧電体中の表面すべり波に関する研究」, 東北大学大学院昭和44年度修士論文
- (19) K.M.Lakin, et.al., "A surface acoustic wave planar resonator employing an enterdigital electrode transducer", Appl. Phys. Lett., 25, No.7, 1 '74
- (20) 小山田, 石原, 吉川, 「インターディジタルカトランスジューサの入カインピーダンス—弾性表面波領域阻止フィルタへの応用」, 信学会超音波研究US74-43 (1975-01)
- (21) 小山田, 石原, 吉川, 「弾性表面波共振器を用いた狭帯域フィルタ」, 音響学会講演論文集(8850, 5)
- (22) F.G.Marshall, et.al., "Theory and Design of the Surface Acoustic Wave Multistrip Coupler", IEEE Trans. MTT-21, No.4, '73

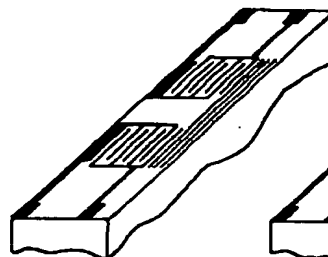


(a) MSCによる電氣的結合

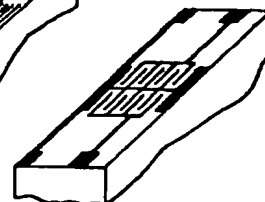


(b) 弾性的結合

図15 グレーティング反射器を用いた多重モードフィルタ



(a) 電氣的結合



(b) 弾性的結合

図16 端面の反射を利用した多重モードフィルタ

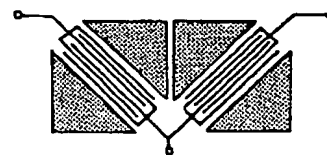


図17 全反射利用の多重モードフィルタ(弾性的結合)

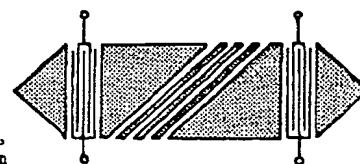


図18 FTR多重モードフィルタ